

CAPITULO 9

**MECANIZACION DEL CULTIVO EXTENSIVO**

Margarita RUIZ ALTISENT y Angel RODRIGUEZ DEL RINCON

## INDICE

- 9.1. Introducción
- 9.2. Acondicionamiento del suelo
  - 9.2.1. Alzado, labor profunda
  - 9.2.2. Labores previas a la siembra
  - 9.2.3. Conformación de los caballones
- 9.3. Mecanización de la siembra
  - 9.3.1. Sembradoras de banda o correa perforada
  - 9.3.2. Sembradoras de disco de cucharillas
  - 9.3.3. Sembradoras neumáticas
  - 9.3.4. Regulación de la sembradora
- 9.4. Mecanización del trasplante
- 9.5. Labores posteriores a la siembra
  - 9.5.1. Trabajo del suelo
  - 9.5.2. Descostrado
  - 9.5.3. Alomado y mantenimiento de los caballones
- 9.6. Tratamientos fitosanitarios
- 9.7. Recolección mecánica
  - 9.7.1. Sistema de funcionamiento de las cosechadoras
  - 9.7.2. Selección electrónica por color. Propiedades ópticas del fruto de tomate
  - 9.7.3. Ensayos de máquinas cosechadoras
  - 9.7.4. Coste económico de la recolección mecánica
- 9.8. Referencias bibliográficas

## 9.1. Introducción

Desde hace ya varias decenas de años se planteó en California la mecanización del cultivo extensivo del tomate, lo que hizo necesario el rediseño del cultivo desde unas bases totalmente nuevas (Lorenzen y Hanna, 1962; Webb y Bruce, 1968; Miles *et al.*, 1968).

Como consecuencia del grave problema de falta de mano obra para la recolección del tomate de industria, surgió la necesidad de contar con una máquina cosechadora, la cual debía crearse desde la nada. A partir de este crucial objetivo se desarrolló todo un conjunto de nuevos cultivares adaptados a dicha operación de recolección mecánica, y a la vez se desarrolló el concepto de la máquina cosechadora. Inmediatamente surgió la necesidad de un cultivo adaptado lo mejor posible al funcionamiento de dicha máquina cosechadora, cuya concepción inicial era:

- Recolección masiva de todos los frutos de una sola vez; para ello:
- Corte de la planta entera.
- Vibración de la planta para el desprendimiento activo de los frutos.
- Separación y eliminación del inevitable porcentaje de frutos verdes y sobre-maduros.

En un principio, las pérdidas en la recolección mecánica eran muy altas, a pesar de lo cual el procedimiento resultaba económicamente rentable, y así continúa siéndolo hoy día. Las pérdidas, sin embargo, ya pueden llegar a ser realmente bajas (2-5% en condiciones óptimas).

Estas condiciones óptimas pueden hoy conseguirse gracias a:

- las propiedades de los nuevos cultivares continuamente mejorados,
- la optimización de las prácticas agronómicas y
- el perfeccionamiento de las propias máquinas.

El desarrollo del cultivo mecanizado en California se hizo en base a la estructura productiva existente en ese Estado, en donde el tomate para industria se produce en explotaciones de grandes dimensiones, a veces de varios centenares de hectáreas. Los

equipos desarrollados en estas condiciones difícilmente pueden rentabilizarse en las explotaciones de mediana o pequeña dimensión que son frecuentes en las áreas de producción de la Unión Europea y de otros países de la Cuenca Mediterránea y de Iberoamérica. Por eso, para introducir el cultivo mecanizado en estos países fue necesario el desarrollo de nuevos equipos, basados en los mismos principios, pero de menor tamaño y rendimiento.

El éxito del cultivo mecanizado requiere la mecanización, en condiciones óptimas, de las operaciones de preparación del suelo e implantación del cultivo, de las labores culturales y de la recolección. Para la realización de algunas de estas operaciones se han desarrollado diversos equipos especializados (Gracia y Palau, 1983). Tanto estos equipos especializados, como (más someramente) los equipos convencionales utilizados en la producción extensiva de tomate, se describen más adelante.

El tomate para industria fue el cultivo hortícola pionero en lo que se refiere a la extensificación y la mecanización; muchos de los sistemas desarrollados para él han sido después adaptados con éxito a otros cultivos hortícolas para industria que, siguiendo las pautas marcadas para el tomate, se han mecanizado también íntegramente.

A veces se argumenta que la mecanización del cultivo del tomate para industria, al sustituir mano de obra por capital, provoca más desempleo en las áreas de regadío extensivo en las que, generalmente, es ya elevado el nivel de desempleo. Sin embargo esto no es exactamente así. Las alternativas de cultivos extensivos que introducen cultivos hortícolas industriales mecanizados, como el tomate, tienen un efecto muy positivo en relación tanto a la mano de obra empleada, como al beneficio del agricultor. En un estudio realizado en las Vegas del Guadiana (Ruiz *et al.*, 1983; García *et al.*, 1985), se comparó la distribución de mano de obra, fija y eventual, el margen bruto y la producción bruta para seis alternativas de menor a mayor intensidad que incluían hortícolas industriales junto con trigo y maíz. Los resultados del estudio muestran que, incluso en las alternativas menos intensivas, la introducción del tomate de industria mecanizado cada cuatro años, o cada dos años, tiene un efecto positivo importante sobre margen bruto y mano de obra empleada.

La mecanización, sobre todo de la recolección, posibilita la introducción de estos cultivos industriales en explotaciones de tamaño grande (50 ha o más) y mediano (25 a 50 ha), mientras que su eliminación induce un desplazamiento hacia alternativas cerealistas que consumen menor cantidad de mano de obra y producen márgenes brutos más reducidos.

Como en cualquier otro cultivo, la resolución de la mecanización supone el establecimiento de un sistema completo, que requiere un conjunto coordinado de máquinas (línea completa o *full line*), diseñadas para ser utilizadas como tal sistema coordinado, desde la preparación y siembra hasta la recolección y el transporte, enfocándose siempre hacia la recolección desde un principio (Caro y Naugle, 1980; Cooperative Extension University California, 1985). La recolección mecánica, en absoluto solucionada para la mayoría de hortícolas de mercado, lo está sin embargo para la mayoría de hortícolas de industria, y ésta es la clave de que hayan llegado a



serlo. Se ha demostrado en algún estudio (Guarella, 1992) que la mecanización de la recolección del tomate de industria, incluso en parcelas medianas, ha logrado reducir el coste de la recolección desde un 54% a un 34% del coste total del cultivo, produciendo así un margen de rentabilidad que antes no tenía.

## **9.2. Acondicionamiento del suelo**

### **9.2.1. Alzado, labor profunda**

La primera labor de preparación del suelo exige un trabajo profundo. Primeramente, y cuando ello sea necesario, se realiza un subsolado en el barbecho de verano, a la mayor profundidad posible. El alzado es la labor siguiente. Este se ha venido realizando con los arados convencionales de vertedera, a profundidades de 20 a 40 cm según tipos de suelos. Existen como es sabido desde arados provistos de una sola vertedera hasta arados de grandes anchuras, adaptables por lo tanto a cualquier tamaño de superficies (Ortiz-Cañavate *et al.*, 1993).

En la actualidad se recomienda en la mayor parte de los casos la utilización de aperos no volteadores, con fines de conservación del suelo y de la fertilidad natural del mismo. En este caso puede aconsejarse el uso de arados cincel o «chisel» utilizados a la profundidad indicada. El suelo resultará mullido en profundidad, pero no volteado.

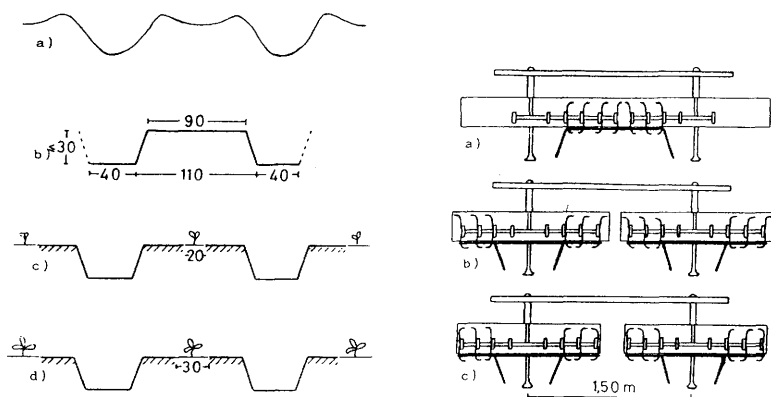
### **9.2.2. Labores previas a la siembra**

- Desterronado con grada o cultivador, será sólo necesario en terrenos con presencia de terrones, restos de cosechas anteriores o hierbas.
- Alomado y marcado del terreno con un apero alomador.
- El abonado de fondo se aplica normalmente con abonadora centrífuga convencional, antes de una labor de grada o cultivador.

### **9.2.3. Conformación de los caballones**

Los aperos de conformación de caballones, mesetas o camas son específicos del cultivo del tomate, y fueron desarrollados para el mismo, desde el que más tarde se transfirieron a otros cultivos hortícolas extensivos. Se exige la conformación de caballones bien horizontales, de gran exactitud en sus dimensiones (anchura y altura), pues éstas han de adaptarse perfectamente a las condiciones del suelo, al riego, y al desarrollo de las plantas.

Los caballones se diseñan para la siembra de una o de dos filas de plantas, que son finalmente segadas por el cabezal de la cosechadora en su conjunto. Esto exige por tanto la adecuación, también, de las dimensiones del caballón a las de corte y embocadura de la máquina cosechadora. Hay que resaltar que la calidad del trabajo



**Figura 9.1. Labores a realizar: a) Caballón original. b) Fresado y comparación. c) y d) Labores de cultivo entre líneas (medidas en cm.). Montaje de la fresadora para realizar cada labor: a) Preparación de las mesas. b) y c) Laboreo entre líneas.**

de la cosechadora depende fundamentalmente de las condiciones de estos caballones al final del cultivo. Ello exige que los mismos sean mantenidos continuamente en perfectas condiciones, horizontales, planos y libres de terrones y de piedras.

Dadas estas exigencias, la fresadora se adapta a su utilización tanto en la conformación de preparación como en el cultivo entre líneas (de los costados de la fila de plantas cuando éstas son pequeñas y del fondo de los surcos) a lo largo del cultivo (Gil *et al.*, 1986). Estas características, con las dimensiones habituales del cultivo, se recogen en la Figura 9.1. La labor, para la eliminación de malas hierbas y mantenimiento de las mesas es superficial: 6 a 8 cm de profundidad.

Las fresadoras o rotocultivadores de cuchillas curvas son muy comunes en las explotaciones hortícolas como medio de preparación del suelo; sus cuchillas cortan finas capas de suelo y las envían contra la chapa posterior dividiendo sus agregados en partículas finas y destruyendo cualquier agregado o resto vegetal que en ella se contenga. Las óptimas características de estas máquinas hicieron posible el desarrollo de un apero específico de conformación y cultivo de mesetas o camas.

En las diferentes versiones, constan siempre de varios cuerpos de rotocultivador combinados con chapas conformadoras de las mesetas. Existen modelos adecuados para la labor de una o de tres camas a la vez, con anchuras de trabajo de 1, 5 y 4,5 m. Por sus características es un equipo que requiere una potencia considerable, la cual sin embargo varía mucho según el tipo de terreno. Para terrenos arenosos será mucho más reducida que para terrenos pesados. Es necesario contar con, al menos, 40-50 kw (54-68 CV) por línea.

Para siembras tempranas es aconsejable realizar toda la preparación al final de la temporada anterior, pues las lluvias pueden dificultar su realización en la primavera. Los tratamientos del suelo son también más efectivos. Las camas preparadas antes del invierno sólo deben ser trabajadas ligeramente antes de la siembra en primavera.

Este sistema de preparación y siembra es el más utilizado, pero requiere la utilización de riego por aspersión durante la germinación, salvo en terrenos muy bien nivelados y buenos conductores de la humedad.

Otro procedimiento es la conformación de las camas en dos operaciones: marcado y conformación de «medios caballones», en los que se siembra lateralmente y se riega en el surco. Una vez establecidas las plantitas se realizan los surcos permanentes. En esta operación, y en todos los casos, es muy importante evitar la formación de terrones y conglomerados. Después, se conforman las camas igualmente para el resto del cultivo y recolección. Esto es recomendable en terrenos donde el movimiento del agua es difícil.

La Figura 9.2 muestra cómo debe y cómo no deben conformarse y mantenerse los caballones.

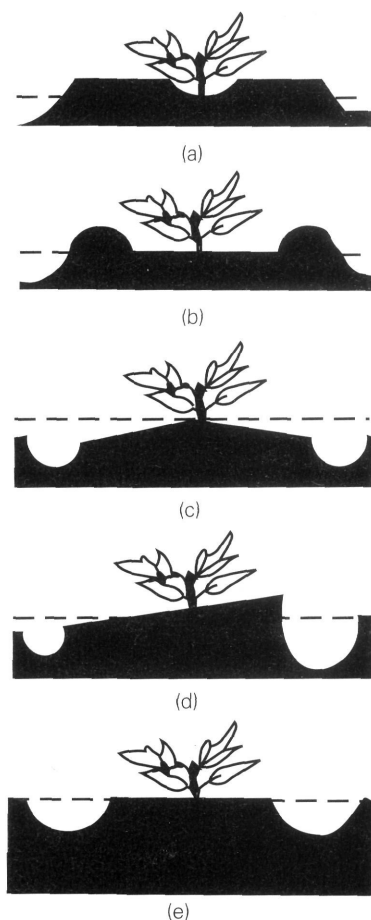


Figura 9.2. Formación incorrecta (a, b, c y d) y correcta (e) del caballón o meseta.

### 9.3. Mecanización de la siembra

La operación de la siembra directa del tomate, al igual que en muchos otros cultivos hortícolas, es muy comprometida. El dominio de esta técnica es fundamental para conseguir un buen establecimiento del cultivo (Rodríguez y González, 1991). Todos los aspectos agronómicos han sido comentados en el capítulo anterior destacándose, por su importancia en el dimensionamiento de las máquinas, la programación de las siembras.

En un principio, y aún se utiliza en algunas zonas de cultivo, se sembraba con sembradoras de disco escotado giratorio, las cuales depositan un chorrillo muy ligero de semillas en el suelo. En el caso de siembras arriesgadas (tempranas, en terrenos difíciles) y semillas de bajo coste, es aún recomendable esta técnica aunque requiere a continuación una labor de aclareo intensa.

Actualmente se requiere la colocación con precisión de semillas individuales, para lo cual se utilizan las sembradoras denominadas «de precisión».

Sólo son sembradoras de precisión aquellas que han sido ensayadas y homologadas como tales. Las condiciones exigidas a una sembradora de precisión son:

- Colocar las semillas una a una, y a distancias iguales a la distancia teórica, según el número de plantas por hectárea requerido.
- Colocar las semillas uniformemente a la profundidad adecuada (1 a 4 cm) y bien alineadas.

A menores profundidades, puede desecarse el suelo en la línea sembrada con la consiguiente pérdida de plantitas. Si se siembra muy profundo, las plántulas resultan débiles en la emergencia. Sin embargo, debe sembrarse a una profundidad suficiente que evite el que resulten atrapadas las semillas en la costra del suelo.

En el caso del cultivo del tomate, sin embargo, y favorablemente, las plantas se adaptan bien a cierta irregularidad en su colocación en el terreno dentro de la línea, por lo que este punto no es tan crítico como en otros cultivos. Ha de tenerse en cuenta en todo caso que la mayor regularidad posible en el establecimiento y en el crecimiento de las plantas es requisito imprescindible para una cosecha uniforme.

Las sembradoras de precisión utilizadas en el cultivo extensivo del tomate son de dos tipos: mecánicas y neumáticas.

La mayoría de las sembradoras monograno eran antes de tipo mecánico. El elemento singularizador o dosificador es generalmente un disco, ya sea perforado o con escotaduras en su periferia. El tamaño de los alveolos o escotaduras se adapta al tamaño de la semilla, y su número a la distancia de siembra. Los discos o platos más típicos en las sembradoras de tomate poseen entre 20 y 40 escotaduras o alveolos, para distancias de siembra de 10 a 30 cm.

Existen otros principios utilizados para la singularización de las semillas en sembradoras mecánicas, especialmente indicados para hortícolas y para el tomate:

### 9.3.1. Sembradoras de banda o correa perforada

Se sustituye el disco por una banda de caucho en cuyos orificios encajan las semillas. La semilla entra en la cámara de siembra a través de un orificio, procedente de la tolva. La correa se mueve en sentido contrario al de avance de la máquina, con objeto de conseguir que la velocidad relativa de la semilla al liberarse de la correa sea prácticamente nula con respecto al suelo (esta condición se aplica también en lo posible a las sembradoras de disco). Ello evita irregularidades en el punto de caída de la semillas, y consecuentemente diferencias en la distancia de siembra.

### 9.3.2. Sembradoras de disco de cucharillas

El disco sustituye los alveolos o escotaduras por unas pequeñas cucharillas de plástico, las cuales se adaptan perfectamente en tamaño y forma a los de las semillas. Los cuerpos de siembra de cucharillas no se adaptan bien a sembradoras de gran anchura en terrenos no muy perfectamente preparados (son sensibles al movimiento). Sin embargo, en equipos manuales o de pequeña anchura, son muy adecuadas para la siembra de pequeñas superficies, o de semilleros.

### 9.3.3. Sembradoras neumáticas

Las sembradoras monograno neumáticas utilizan el principio de aspiración de aire para el llenado de las celdillas, las cuales deben ser obligadamente menores que el tamaño de las semillas. Por medio de esta aspiración, al pasar el disco perforado (siempre en posición vertical) en su giro por la boca de alimentación de las semillas, varias de éstas quedan adheridas al alveolo u orificio. Posteriormente, mediante la acción de un dispositivo enrasador, queda una sola semilla en cada alveolo, hasta llegar en su giro a una zona donde no existe aspiración (parte inferior) y la semilla cae libremente al fondo del surco.

Este sistema tiene varias ventajas en relación a los de alimentación mecánica:

- La alimentación del disco es independiente, entre ciertos límites, del tamaño y forma de las semillas.
- La alimentación es considerablemente más rápida que en el llenado de celdillas por simple gravedad, por lo que estas sembradoras pueden alcanzar mayores velocidades de trabajo.

La disposición vertical del disco añade todas las ventajas de las sembradoras de disco vertical:

- Menor altura de caída, pues las semillas se liberan a pocos centímetros de altura sobre el surco.
- Mejores posibilidades de regulación de la profundidad de siembra, por la disposición del cuerpo de la sembradora, de poca anchura, sobre ruedas y /o patines de apoyo.

A la vez, la tolva es más pequeña, lo que no es ningún problema para la semilla de tomate.

Algunas sembradoras neumáticas van provistas de eyección también neumática, por sobrepresión, para la mejor colocación de la semillas en el fondo del surco.

#### **9.3.4. Regulación de la sembradora**

En todos los casos de sembradoras monograno, éstas están constituidas por cuerpos independientes, uno por línea de siembra, montados en un bastidor común. Para la anchura correspondiente a tres caballones consta, por tanto, la máquina de tres o de seis cuerpos de siembra, en función de que se siembren una o dos líneas por caballón. En este último caso, los cuerpos van montados dos a dos. La distancia entre líneas se ajusta variando la posición de montaje de los cuerpos de siembra sobre el bastidor.

La regulación de la distancia de siembra se consigue variando la relación de transmisión «rueda motriz de la máquina-disco de siembra» y el número de alveolos del plato, disco o correa de siembra. La distancia entre golpes consecutivos de siembra viene determinada por la expresión:

$$d = \frac{l \times i}{k}$$

en la que:

$d$  = Distancia entre golpes (cm).

$l$  = Longitud de la circunferencia exterior de la rueda motriz (cm).

$i$  = Relación de transmisión.

$k$  = Número de alveolos del disco.

Cada cuerpo de siembra va provisto de sus propias ruedas, patines o rodillos de apoyo, los cuales forman el plano de referencia de la profundidad de siembra. Esta se regula por la posición vertical del extremo inferior de la reja asurcadora, en relación al plano determinado por las ruedas, por medio de un mecanismo de elevación. El peso que gravita sobre la reja abridora tiene que ser en todo caso suficiente para que ésta penetre en el terreno sin dificultad en ningún momento. Cuando este peso no es suficiente, en particular por la mayor resistencia del terreno, es necesario lastrar el cuerpo de la sembradora con masas adicionales, de las que viene normalmente provista.

Los cuerpos de siembra se montan óptimamente sobre el bastidor a través de mecanismos en cuadrilátero articulado, los cuales aseguran la posición de apoyo más adecuada. El montaje sobre los tres puntos o en la barra del bastidor no asegura tan perfectamente la profundidad de siembra. En todo caso, el bastidor, como ya se ha comentado, deberá ir provisto de ruedas, rodillos o patines de apoyo que permitan mantener con precisión la posición lateral y vertical de la máquina en su avance.

Una circunstancia importante para asegurar una buena siembra de precisión está relacionada con la preparación del lecho. Hemos visto que la preparación del terreno para la siembra se consigue con el rotocultivador en la superficie bien nivelada de los caballones. La propia sembradora va provista de una reja abridora, y habrá de conseguirse que, por el efecto de ésta sobre la propia línea en que se depositan las semillas, resulte perfectamente mullida y compacta en el fondo y en la superficie, para asegurar el entorno óptimo a la semilla para su germinación. Es claro que estas condiciones, lo mismo que la adecuada profundidad de siembra, se relacionan íntimamente con la humedad y con la estructura del suelo. En cada caso habrá de ensayarse cuidadosa y exhaustivamente las distintas regulaciones de la máquina sembradora.

Un ensayo de calibración y regulación de una sembradora de precisión deberá realizarse de la forma siguiente:

- Calibración de la dosis: Una vez regulada la máquina según las especificaciones del fabricante, para la distancia de siembra deseada,  $d$ , se recogerá en un recipiente la semilla distribuida por cada uno de los cuerpos de siembra, para un número determinado de vueltas de la rueda de accionamiento. Se comprobará así la dosis superficial (número de semillas/ha).
- Calibración de la distancia y de la profundidad: Se realizará un recorrido sobre el terreno sembrando, dejando si es posible el surco sin tapar; si no es el caso, se escarbará bajo la línea de siembra y se medirá la distancia para al menos 50 semillas en cada línea, así como la profundidad media.

El mayor problema en la utilización de estas sembradoras de precisión está en la posible entrada de tierra, la cual llega a taponar los pequeñísimos orificios del plato, y se introduce, en su caso, entre la correa y las poleas tensoras haciendo patinar a ésta.



**Figura 9.3.** *Plantivator realizando las operaciones de siembra y de aplicación de microgránulos y fertilizante líquido.*

Combinando diversos aperos, en la misma operación de siembra se puede realizar la aplicación de diversos productos al suelo (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc). Es conocido un apero específico para ello, el *plantivator* que es un bastidor de tres líneas, provisto de patines o rodillos estabilizadores, y sobre el que se montan tres (o seis, para doble fila de plantas) cuerpos de sembradora, tolvas de microgránulos y depósitos de fertilizante líquido (Figura 9.3).

Para ayudar a la emergencia, y en el caso de encostrado del terreno, será necesario el pase de un apero desencostrante: rejas rectas montadas en cultivador, o ruedas de jaula; el procedimiento más adecuado es íntimamente dependiente del tipo de terreno, y de la costra. En todo caso es una labor de cierta precisión, para la que el cultivo en las camas o caballones descritos es imprescindible (ver más adelante).

#### 9.4. Mecanización del trasplante

El trasplante consiste en colocar en el terreno, preparado según las especificaciones más arriba expuestas, las plantas previamente sembradas y cultivadas en invernadero o túneles bajos. Las nuevas posibilidades de mecanizar esta operación hacen que en determinadas circunstancias siga teniendo interés el trasplante del tomate de industria.

Hasta los años 80 no se ha extendido de forma generalizada un renovado interés por el trasplante mecanizado. Las causas de este retraso están en relación con los siguientes aspectos:

- Los incrementos de productividad no son muy grandes en relación a la operación puramente manual, cuando los terrenos son de forma irregular, parcelas pequeñas o presentan obstáculos.
- La calidad del trasplante se ve empeorada si se realiza una preparación inadecuada del terreno.
- Aparecen dificultades para la máquina trasplantadora cuando el terreno está o muy húmedo o demasiado seco.
- Escasa utilización anual de las máquinas trasplantadoras cuando son específicas para un solo cultivo hortícola.

Las ventajas del trasplante aparecen también en el caso del tomate de industria. La operación realizada tradicionalmente a mano, de plantas a raíz desnuda producidas en semilleros propios, fue retrayéndose en favor de la siembra directa, con evidentes ventajas a favor de ésta última. Sin embargo, el trasplante sigue siendo mayoritario en la producción de tomate de industria en el área mediterránea. Las posibilidades que brindan una gran variedad de nuevas máquinas trasplantadoras, de precio asequible, buena capacidad de trabajo y calidad en la manipulación de las plantas, abren un nuevo interés.

Las características constructivas y funcionales de las trasplantadoras varían notablemente, debido a que se han adoptado distintas soluciones técnicas para realizar operaciones similares, y a que las trasplantadoras se emplean para realizar al tiempo



varias operaciones diferentes en una misma pasada (Bernat y Gil, 1992; Cosgaya, 1990).

Los elementos esenciales de las máquinas trasplantadoras son: el bastidor, los elementos trasplantadores y los elementos distribuidores. Además, pueden estar provistas de dispositivos para el abonado y riego localizados, distribución de insecticidas, tendido de lámina plástica como acolchado o como túneles, y otros.

Las máquinas que se utilizan en el trasplante del tomate de industria son de alimentación manual (denominadas semiautomáticas) de plantas a raíz desnuda. Las automatización de estas máquinas, por la eliminación de la alimentación manual de las plantas, exige la utilización de plantas con cepellón, que sólo en los últimos años se han empezado a utilizar en el tomate de industria. Queda por tanto la aplicación reducida a máquinas de discos de pinzas, o más modernamente, de cadenas de pinzas, de alimentación manual.

De avanzarse hacia la preparación de semilleros en bandejas, es decir de plantas con cepellón, las ventajas agronómicas se complementarían con la mejor calidad de la operación del trasplante en sí, y la posibilidad cierta de la automatización del trasplante.

Como en el caso de las sembradoras, los cuerpos trasplantadores son individuales, y se montan independientes sobre el bastidor, normalmente también en tres líneas; la regulación de su posición lateral sobre el bastidor fija la distancia entre líneas, entre ciertos límites, pues es evidente que los cuerpos de esta máquina son muy anchos. Para distancias entre líneas menores, pueden montarse los cuerpos en tándem. Puede en otros casos fijarse sobre el bastidor la distancia entre cuerpos por el fabricante, sobre pedido.

Los elementos trasplantadores son los siguientes:

- Estructura de acoplamiento al bastidor y un asiento para el operario que debe alimentar la máquina.
- Reja asurcadora.
- Dispositivo aporcador: rejas o discos alomadores.
- Transmisión al disco distribuidor.

Los elementos distribuidores para plantas a raíz desnuda son, en general, los discos o cadenas de pinzas. Existen distintos tipos de elementos, pero su funcionamiento es similar. Los elementos prensiles (las pinzas) están dispuestos en la periferia de un disco o de una cadena y sobre ellos va colocando el operario una planta por pinza, con la raíz expuesta hacia arriba. El cierre de la pinza suele ser automático, así como la apertura de la misma, coincidiendo con la posición justa vertical de la planta sobre el terreno. Las pinzas están forradas con material amortiguador, para reducir al mínimo los daños a las plántulas.

Las diferencias que marcan la evolución de los distribuidores de pinzas se centran en el dispositivo transportador de las mismas, que puede ser de disco o de cadena articulada.

Al igual que en el caso de las sembradoras monograno, la regulación de la distancia entre plantas se realiza por variación de la relación de transmisión «rueda de la máquina-disco o cadena de pinzas», y por variación del número de pinzas en el disco o cadena.

Para plantas con cepellón pueden utilizarse estas mismas trasplantadoras de pinzas (denominadas también «universales»), aunque existen hoy otros tipos de elementos distribuidores de vasos, los cuales mejoran el rendimiento y la calidad de trabajo de las de pinzas. Son los siguientes:

a) Vasos giratorios alrededor de un eje vertical: Los vasos pueden tener distintas dimensiones y formas, y encontrarse en diferente número sobre el eje; pueden ser cilíndricos o cónicos y en número de cuatro, seis, ocho o más (Figura 9.4). Los vasos son alimentados uno a uno manualmente por el operario. El poder acceder a todos los vasos simultáneamente y poder llenar varios vasos al tiempo, estableciendo una reserva de plantas en los mismos, permite una mayor capacidad de trabajo al superar la alimentación sincronizada de plantas individuales. La apertura del fondo del vaso está sincronizada con el movimiento del distribuidor y será giratorio continuo en el caso de apertura con abrazaderas, o intermitente en el caso de apertura con trampilla. Las plantas con cepellón tienden a caer desde el vaso al suelo en posición preferentemente vertical (mayor peso en la base, mayor resistencia del aire en las hojas), pero nunca de forma totalmente uniforme, dado el movimiento de la máquina. Para controlar más la posición de las plantas sobre el surco u orificio abierto por el elemento asurcador o perforador, se están experimentando soluciones activas de colocación, por ejemplo, un tubo con obturador o con eyector.

b) Vasos giratorios alrededor de un eje horizontal: Los vasos, semejantes a los anteriores, están colocados en la periferia de dos discos del mismo diámetro, paralelos



Figura 9.4. Trasplantadora de vasos giratorios de eje vertical.

entre sí, y en rotación alrededor de un eje horizontal. Una leva es la encargada de abrir el fondo del vaso una vez que éste baja al nivel del terreno. Las diferencias con el tipo anterior son las siguientes:

- Al ser pequeña la distancia entre el punto de liberación de las plantas y el suelo, no se requieren dispositivos de colocación adicionales.
- El fondo del propio vaso puede realizar la apertura del orificio donde caerá la planta; este sistema asegura una mejor colocación de la planta en el terreno.
- Dentando los bordes de las abrazaderas y dotándolas del perfil adecuado se puede plantar sobre plástico.

En estos dos últimos casos no se requiere el elemento asurcador o perforador.

c) Banda transportadora para cepellones cúbicos comprimidos: El distribuidor es una banda o cinta transportadora inclinada que termina en contacto con el terreno en una especie de tobogán. Las plantas avanzan hacia el tobogán por el empuje de los cepellones que van a continuación (Figura 9.5). La regulación de la distancia de plantación se define únicamente por la relación de velocidades entre la velocidad de avance de la máquina y la de las plantas en la banda. Algunos modelos incorporan un dispositivo de pinzas que coloca las plantas una a una en el surco, mecanismo ya necesariamente sincronizado con el avance.

d) Banda transportadora de cangilones: Los elementos distribuidores son una serie de cangilones de diverso tamaño y forma montados sobre una cinta o cadena transportadora que termina en un tubo alimentador, el cual las deja sobre el terreno en caída libre o en unos discos distribuidores, actuando en este caso el transportador de cangilones como elemento alimentador.



Figura 9.5. Trasplantadora de banda transportadora para plantas con cepellón.



## 9.5. Labores posteriores a la siembra

### 9.5.1. Trabajo del suelo

Los cultivadores están constituidos por una serie de brazos en cuyo extremo se montan unas rejas que pueden ser de formas muy diversas, y que se montan a distancias variables sobre un bastidor, constituido fundamentalmente por un conjunto de barras transversales. Los cultivadores se emplean en múltiples funciones: escarda de malas hierbas, desmenuzamiento de terrones, mullido de la capa superficial del suelo, preparación del terreno para el riego e incorporación de abonos, herbicidas y plaguicidas. Con estos objetivos se utilizan en el cultivo del tomate. La Figura 9.6 muestra uno de estos cultivadores provisto de rejas escardadoras de malas hierbas y equipo de fertilización localizada líquida (nitrogenada).

Sobre el mismo bastidor descrito se montan, según el tipo de terreno, rodillos de jaula y rejas acaballadoras sobre el surco o cultivadores rotativos de estrellas (no accionados), con los mismos fines.

### 9.5.2. Descostrado

En las siembras directas ésta es una operación que se puede realizar mecánicamente, si se ha tenido la precaución de localizar la semilla a una profundidad ligeramente inferior a la normal. Para el descostrado puede utilizarse un bastidor de cultivador provisto de rejas rectas. La aplicación de este apero sobre la línea de siembra para cortar la costra exige una gran precisión en la profundidad. Esta precisión es necesaria



Figura 9.6. Cultivador con rejas escardadoras de malas hierbas y equipo de aplicación de fertilizantes líquidos.

también en el resto de labores de cultivo, y en la misma recolección. Los factores más importantes en el logro de la precisión de profundidad y lateral son los siguientes:

- Terreno nivelado.
- Preparación exacta de los caballones o camas: Las operaciones de marcado, acaballonado y conformación de los caballones deben mantener una línea perfecta, y una profundidad uniforme, controlada por ruedas o patines de apoyo en todos los aperos. Para este fin, la mayor anchura de los aperos es ventajosa y perfectamente utilizable en las labores que requieren menor potencia: marcado, aporcado, cultivo, siembra y desencostrado.
- Todas las operaciones con maquinaria deben hacerse por las mismas rodadas, para mantener la misma posición lateral de los aperos en las diversas pasadas.

El descostrado se realiza habitualmente también con rodillos, lisos o de jaula, provistos de pequeños pinchos o púas que se pasan sobre las líneas de siembra, o con ruedas dentadas montadas sobre un bastidor. Con cualquiera de estos dispositivos el objetivo es crear grietas en la costra, suficientes para posibilitar la nascencia.

### 9.5.3. Alomado y mantenimiento de los caballones

La operación de alomado y mantenimiento de los caballones se ha indicado anteriormente. Para su realización se utiliza el apero rotocultivador con el dispositivo conformador.

## 9.6. Tratamientos fitosanitarios

Los equipos de pulverización que se utilizan en el cultivo del tomate son casi exclusivamente pulverizadores hidráulicos. En estos equipos se crea una presión hidráulica en un circuito por medio de una bomba (presiones normales del orden de 2 a 6 bar), y el líquido es pulverizado por efecto de esta presión a la salida de una boquilla. Esta misma presión sirve para imprimir a las gotas la energía cinética necesaria para que alcancen su objetivo, es decir las hojas de las plantas a tratar.

Para un buen tratamiento debe cubrirse las superficies a tratar con una red continua de gotas, del tamaño más adecuado, en función del tipo de patógeno y del producto de tratamiento. El número de impactos (imp.) recomendados por unidad de superficie depende del tipo de tratamiento:

— Fungicidas	50-70 imp/cm <sup>2</sup>
— Herbicidas de contacto	30-40 imp/cm <sup>2</sup>
— Herbicidas de pre-emergencia	20-30 imp/cm <sup>2</sup>
— Insecticidas	20-30 imp/cm <sup>2</sup>

Para conseguir estas densidades de impactos y simultáneamente reducir las pérdidas del producto se hace imprescindible uniformar al máximo las dimensiones de las gotas

aplicadas. En las condiciones ambientales de temperatura y humedad usuales se aconseja trabajar con diámetros de gotas no menores de 80 a 100  $\mu$  ( $1\mu = 10^{-6}$  m). Las gotas de menor tamaño se ven sometidas a deriva y evaporación; las gotas de mayor tamaño escurren al suelo y se depositan en zonas cóncavas de la estructura de la planta (Planas, 1990).

A la vez, según el tipo de tratamiento, se recomienda los siguientes tamaños de gota (diámetro medio volumétrico):

- Por contacto = fina 100-300  $\mu$
- Sistémico = media 300-500  $\mu$
- Sobre el suelo = gruesa > 500  $\mu$

El tamaño y el número de gotas por litro aplicado, así como la dispersión de estos parámetros, dependen de las boquillas (tipo elegido) y de la presión del circuito. La densidad de materia activa depositada estará en función de la concentración del caldo aplicado, además del número y tamaño de gotas mencionado. La complejidad inherente a un tratamiento fitosanitario implica pues un conocimiento detallado del equipo que vaya a utilizarse y de sus regulaciones. El mantenimiento de los equipos de tratamientos es fundamental, y su calibración en cada tratamiento, es también fundamental para conocer exactamente en cada caso su funcionamiento.

Una mejora en tamaño y distribución de las gotas, en relación a los conseguidos por las boquillas hidráulicas convencionales, se obtiene con el sistema de pulverización centrífuga, una técnica en fase de desarrollo.

Esta complejidad implica también el que el desarrollo de nuevos productos fitosanitarios se realice en estrecha colaboración con los diseñadores del equipo de aplicación. El resultado de un tratamiento, y también el cumplimiento de las exigencias medioambientales actuales, es la combinación de producto y equipo de aplicación. El objetivo es una reducción sensible de las cantidades de producto aplicadas. Para ello es necesario:

- Minimizar las pérdidas por evaporación, deriva y pérdida en el suelo.
- Optimizar la distribución del producto activo sobre la vegetación, en relación a uniformidad y densidad de impactos por unidad de superficie.

En este tipo de cultivos herbáceos no es común la utilización de equipos hidroneumáticos (atomizadores), en los que unas corrientes de aire dirigidas convenientemente transportan las gotas a las hojas, los cuales están muy extendidos en tratamientos a cultivos leñosos. Se han desarrollado, recientemente, para cultivos bajos hortícolas, pulverizadores que pueden llamarse hidroneumáticos con propiedad, con las boquillas frente a unas pequeñas toberas cilíndricas, orientables, y montadas en una barra de pulverización. En todo caso estos equipos deben ser regulables en orientación y en velocidad del aire de salida.

Está demostrado que la pulverización por sí sola, tal como se practica con generalidad, no es capaz de remover suficientemente el follaje para alcanzar todas las



partes de la vegetación (envés de las hojas, partes bajas de la planta, tallos, etc.), y el resultado suele ser la sobre-dosificación (tratamientos de hasta 800-1.000 l/ha y altas presiones de tratamiento), con el consiguiente escurrimiento al suelo, y a la vez un recubrimiento insuficiente del follaje con la materia activa del tratamiento. Para estos casos es más aconsejable cambiar la posición relativa de las boquillas respecto al cultivo, de manera que la pulverización se realice lateralmente o desde abajo, utilizando prolongadores.

Para resolver estas deficiencias de los equipos de pulverización convencionales, se ha desarrollado un sistema que aprovecha las ventajas del transporte neumático para mejorar el transporte de las gotas en cultivos bajos. Se trata del sistema de flujo laminar o cortina de aire, el cual incorpora a la barra de pulverización un conducto de aire, con orificios para cada una de las boquillas (boquillas de chorro cónico) o una ranura continua (boquillas de abanico) (Figura 9.7). Este canal puede ser rígido o inflable. En este caso la corriente de aire cumple varios objetivos:

- Ayuda al transporte de las gotas, especialmente la fracción de gotas de menor diámetro.
- Abre el follaje y lo agita para una mejor distribución en su interior.
- Produce una cortina de aire que protege a las gotas en su recorrido a las hojas, evitando derivas, especialmente en presencia de viento.

Este procedimiento permite por ello:

- Reducir las dosis por unidad de superficie.
- Aumentar la velocidad de trabajo sin disminución de la precisión del tratamiento.
- Aumentar los días hábiles (sin viento) en los que se puede tratar.



Figura 9.7. Pulverizador de cortina de aire, con transporte neumático de las gotas de caldo.

Estos dos últimos avances permiten mejorar la oportunidad del tratamiento y con ello su eficacia. Experiencias realizadas con un equipo de cortina de aire (*twin system*) en cultivo de tomate, en las que se compararon dosis de 190, 330 y 440 l/ha demostraron que, sobre todo en la dosis más baja, la deposición de materia activa en la parte inferior de las plantas fue significativamente mejor (en un 30%). En general, en experiencias en otros cultivos hortícolas, utilizando el sistema de cortina de aire es posible la aplicación de dosis un 50% menores, con resultados biológicos análogos en tratamientos a las dosis y equipos de pulverización convencionales. Algunos valores recomendados para este tipo de tratamiento:

<i>Tratamiento</i>	<i>Dosis (l/ha)</i>	<i>Presión (bar)</i>	<i>Vel. aire (m/s)</i>
Herbicida pre-emergencia	75	1,9	10-15
Herbicida post-emergencia	75	1,9	10-18
Herbicida entre líneas	75	1,9	18-22
Fungicida	150	3,2	28-30

Se han observado reducciones de la deriva del 90% en tratamientos a razón de 70 l/ha, comparados con aplicación convencional a razón de 150 l/ha.

### 9.7. Recolección mecánica

La recolección mecánica es el punto clave del cultivo mecanizado, al que deben subordinarse el resto de las operaciones culturales si se quiere tener éxito con la mecanización. El desarrollo de las primeras máquinas cosechadoras, junto con el de las variedades de maduración agrupada y fruto consistente, se produjo en California, a principio de los años 60.

En España, las primeras cosechadoras de tomate se importaron en Extremadura muy pronto, en los años 70. Por aquella época el cultivo conoció un gran auge y algunas industrias conserveras cultivaban directamente superficies importantes de tomate para garantizar su abastecimiento. Fueron estas conserveras las que realizaron la importación de las cosechadoras, que se aplicaron a cultivos cuya tecnología no se había desarrollado paralelamente, por lo que las cosechadoras tuvieron escaso éxito, nunca llegaron a utilizarse a pleno rendimiento y en buenas condiciones y pronto perdieron interés y fueron abandonadas.

Por aquella misma época se importaron también cosechadoras americanas en Portugal, donde incluso llegó a desarrollarse una máquina propia. Los cambios provocados por la Revolución de los Claveles acabaron arrinconando por completo las máquinas y paralizando el proyecto de desarrollo de maquinaria propia.

Mientras que en California la mecanización de la recolección alcanzó el 100% de la superficie, en los países europeos no volvió a aparecer el interés por la cosecha mecánica hasta mediados de los años 80, coincidiendo con la aparición en el mercado



de máquinas más adecuadas al tipo de explotación más común en Europa, fabricadas en Italia o en Francia.

En la actualidad la superficie cosechada mecánicamente en Extremadura es de aproximadamente el 60% y está creciendo muy rápidamente; en Navarra, la recolección mecánica es poco más que testimonial.

En Italia la recolección mecánica es prácticamente del 100% en la zona Norte y a este porcentaje se aproxima también la zona de los Pirineos Orientales en Francia. En otros países el desarrollo de la cosecha mecánica es menor, pero se esperan crecimientos importantes en los próximos años, sobre todo en países como Portugal, Chile, Canadá y, en menor medida, en Grecia, Turquía, Argentina, etc.

### 9.7.1. Sistema de funcionamiento de las cosechadoras

Existen actualmente varios tipos y modelos de máquinas cosechadoras de tomate de industria de diversas casas comerciales (Giametta, 1993) pero sus formas de trabajar son muy parecidas, y esencialmente constan de:

- Sistema de corte y elevación de las plantas.
- Sistema de separación de los frutos.
- Bandas de clasificación y carga a remolque.

El corte de la planta entera se realiza a ras del suelo, empleándose diferentes tipos de sistemas: cuchillas rectas o inclinadas por empuje, discos giratorios, barra segadora de doble cuchilla alternativa (Figuras 9.8 y 9.9). La plantas, con todos sus frutos y cierta cantidad de tierra se introducen en la máquina mediante un transportador de cadenas, de anchura igual o poco menor que la de corte. En éste se trata de eliminar



Figura 9.8. Sistema de corte de cosechadora por cuchilla inclinada.

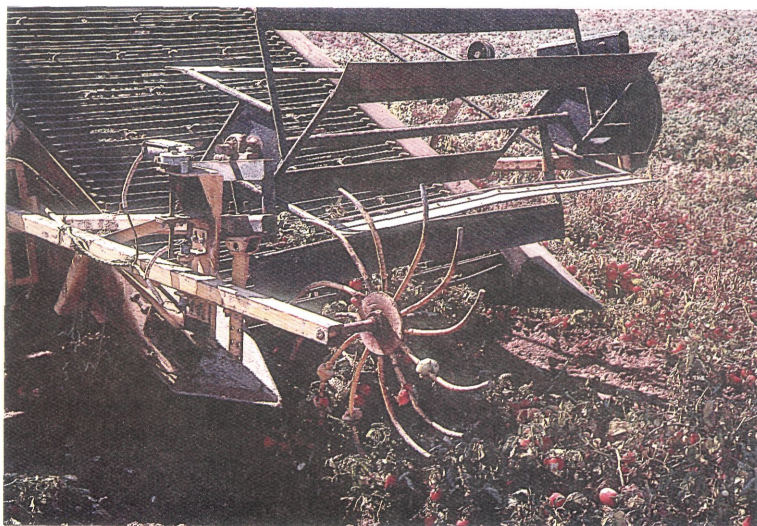


Figura 9.9. Sistema de corte de cosechadora por doble cuchilla alternativa.

la tierra suelta. Al final de este transportador, los terrones, posibles piedras y frutos sueltos caen sobre la banda transversal de limpieza, pasando a una primera banda de clasificación (eliminación de piedras y terrones), manual o electrónica.

La separación de los frutos de la planta se realiza por un conjunto de sacudidores, los cuales imprimen unas sacudidas verticales y horizontales a las plantas, capaces de



Figura 9.10. Conjunto de sacudidores para separar los frutos de las plantas en las cosechadoras.





Figura 9.11. Banda transportadora para selección de los frutos en las cosechadoras.

desprender los frutos por efecto de las mismas (efecto de vibración) (Figura 9.10). El desprendimiento de los frutos es casi total por este procedimiento. Las plantas, libres de frutos o conteniendo un mínimo número de ellos (pérdidas), caen por detrás de la máquina, transportadas por las cadenas o barras vibrantes.

Existe actualmente un nuevo tipo de sistema separador, basado en un cilindro de largas varillas, dotado de vibración, que «peina» las plantas a la vez de vibrarlas y consigue la separación con una energía y una superficie de máquina de menor tamaño.

Todos los frutos separados pasan a unas bandas transportadoras que discurren por los laterales de la máquina y en las que los operarios realizan la separación de los



Figura 9.12. Cosechadora autopropulsada.



Figura 9.13. Cosechadora remolcada.

frutos verdes, defectuosos y posibles restos de plantas (Figura 9.11). La mayoría de estos operarios (en número de 6 a 10) son sustituidos en las modernas máquinas por sistemas electrónicos (ver más adelante).

Las cosechadoras de tomate de industria existentes en el mercado pueden ser autopropulsadas o remolcadas por tractor (Figuras 9.12 y 9.13). La diferencia entre ambos tipos es la capacidad de trabajo (ligada con el tamaño de la máquina, más pequeño en las remolcadas) y como consecuencia, el precio. La elección de una u otra es una cuestión económica, y de estrategia de la organización del trabajo de recolección. Como en cualquier otro tipo de máquinas cosechadoras, y otras máquinas, para grandes rendimientos y optimización de las operaciones, el efecto de escala es determinante: a mayor superficie y tamaño de máquinas, coste menor de las operaciones.

#### **9.7.2. Selección electrónica por color. Propiedades ópticas del fruto de tomate**

Las propiedades ópticas de los cuerpos están en función de su interacción con las radiaciones del espectro óptico. Este espectro contiene tanto la luz visible (VIS), como la ultravioleta (UV) y la infrarroja (IR), de ésta especialmente la cercana (NIR).

El color es por lo tanto el resultado de la interacción de, por ejemplo, el fruto de tomate con la luz VIS que incide sobre él. De este modo, dado que por medio de un sensor óptico puede determinarse el espectro de la luz reflejada por el cuerpo, o simplemente la cantidad de energía luminosa reflejada en una determinada longitud de onda o banda, puede medirse cualquier propiedad óptica, especialmente el color de los frutos (Ruiz y Chen, 1982).



En una máquina cosechadora de tomate ha de separarse y eliminarse del conjunto de frutos rojos (maduros) los frutos verdes (desechables), y también los terrones y/o piedras. Esta selección se ha dicho más arriba que se realiza manualmente, por operarios que van sobre la cosechadora durante su funcionamiento. Si la cosecha se encuentra en estado avanzado, es posible encontrar también otras fracciones de frutos como sobremaduros y podridos, es decir, atacados por diferentes hongos; frutos asolanados (amarillos-blancuecinos en parte de su superficie); frutos con daños externos producidos por plagas, enfermedades o accidentes. Todos ellos han de ser eliminados en la cosechadora, pues reducen enormemente la calidad del producto. Si la cantidad total de unidades a eliminar es alta, la capacidad de trabajo de la cosechadora queda limitada precisamente por la de los operarios manuales. Su trabajo, que es además subjetivo y tedioso, deja de ser eficiente al cabo de un tiempo determinado (necesidad de paradas). La selección automática asegura la calidad y la capacidad de trabajo de la cosechadora. Se requiere desde luego una calidad previa mínima del producto y del funcionamiento de la máquina, en la línea de lo que se ha indicado en anteriores apartados.

Los selectores electrónicos se introdujeron en las cosechadoras hace ya años, y son fundamentalmente de dos tipos:

- Selectores de terrones y piedras basados en la distinta absorción de radiación infrarroja por los frutos (materia biológica con alto contenido en agua) y los terrones y piedras; se montan en la banda transversal que recoge frutos sueltos y estos elementos extraños y se encuentran al final del elevador del cabezal de corte.
- Selectores de color, basados en la determinación de «rojo» o de «no rojo». Este tipo de selector es el más sencillo, pues basta un filtro que elimine la parte del espectro correspondiente al rojo, de manera que al detector le llegue energía



Figura 9.14. Selector de color montado sobre cosechadora de tomate.

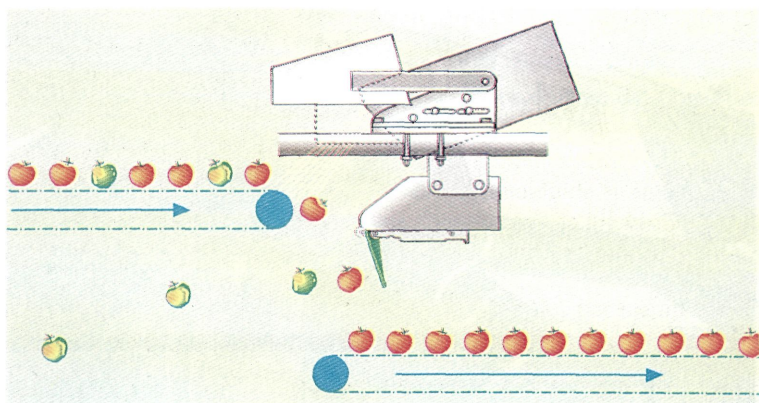
solamente cuando el cuerpo que lo atraviesa no sea rojo (pues todo cuerpo rojo absorbe esa parte del espectro); el mismo procedimiento puede aplicarse para la determinación de «verde» (Figura 9.14).

En ambos casos el cuerpo del selector está formado por (Figura 9.15):

- Una banda de aceleración que asegure la individualización de los frutos, es decir, el que se presenten mínimamente separados entre sí (la banda es continua); los frutos caen al final de ésta.
- Una línea de iluminadores (lámparas) de la zona del espectro de radiación correspondiente.
- Una línea de detectores de la radiación difusa reflejada por el fruto/terron.
- El dispositivo de empuje de los frutos/terrones desechados (actuador), accionado neumáticamente.
- El microprocesador, encargado de procesar los datos producidos por los sensores (detectores) y enviar las señales correspondientes a los actuadores, en función de la decisión adoptada.

Este microprocesador es en realidad un pequeño ordenador, con elementos de regulación accesibles al usuario, que le permiten establecer el umbral de desecho o tría, en función del estado de la cosecha y de las posibles especificaciones de calidad impuestas por la industria, así como la adaptación del dispositivo a posibles variaciones de iluminación, presencia de suciedad, etc. Estos controles y regulaciones son las capacidades específicas ofrecidas por cada fabricante.

Esta sencillez, y el precio cada vez menor de los componentes electrónicos, hizo posible la introducción de este tipo de selección en cosechadoras por vez primera hace más de veinte años (de nuevo, el tomate de industria es pionero). Hoy en día, el uso de diversos tipos de sensores para monitorización y control de toda clase de funciones en tractores, cosechadoras diversas y otras máquinas está generalizado. El encarecimiento de una máquina por estos elementos es porcentualmente cada vez menor, y



**Figura 9.15.** Esquema de funcionamiento del selector de color utilizado en cosechadoras de tomate.

las ventajas de funcionamiento y de aumento de la calidad y capacidad de trabajo que proporcionan son decisivas.

Los selectores de color y de terrones y piedras están totalmente generalizados en las cosechadoras de tomate de industria. Existen aún muchas máquinas que no los llevan, especialmente las de menor capacidad de trabajo, pero todas ellas están preparadas para su montaje como equipo opcional.

Queda aún por introducir la selección electrónica de frutos dañados, para lo cual es necesario utilizar no solamente las propiedades ópticas definidas más arriba (es decir, relativas al espectro óptico), sino la utilización combinada con analizadores de imagen, técnica que está ya siendo introducida en líneas de clasificación de fruta. Los analizadores de imagen utilizan unas cámaras de vídeo como sensores, por lo que el procedimiento requiere algo más de inversión en componentes electrónicos (Ruiz y Chen, 1990). Por medio de esta técnica es también factible la determinación de formas, tamaños y otras irregularidades.

Asimismo la extensión del uso de la radiación infrarroja es factible para la determinación de otros factores de calidad, como contenido en azúcares, ácidos, etc., técnica que se encuentra actualmente en desarrollo.

Los selectores ópticos han de ser capaces de procesar todo el producto cosechado, con la misma capacidad de la máquina: de 5 hasta 30 o más toneladas/hora, normalmente con dos unidades de cada tipo de selector, una a cada lado de la máquina.

### 9.7.3. Ensayos de máquinas cosechadoras

La adecuación del tipo de máquina a las condiciones particulares de trabajo y a la estructura de la explotación en la que se va a realizar debe hacerse en base a ensayos que determinen la calidad de trabajo y el rendimiento de las máquinas.

En Extremadura se realizaron ensayos de cosechadoras en 1979, 1983 y 1990. Se describen a continuación la metodología y los resultados de cada una de estas series de ensayos, los cuales muestran claramente los parámetros que caracterizan la calidad y la capacidad del trabajo de las cosechadoras de tomate.

En 1979 (Ortiz-Cañavate y Gil, 1980; Gil *et al.*, 1984) se hicieron unos primeros ensayos con el fin de poner a punto una técnica de ensayo que permitiera determinar los daños mecánicos que producen sobre los frutos los distintos mecanismos de las cosechadoras, así como los producidos durante la carga y el transporte.

La técnica de ensayo consistió en tomar muestras de:

- Frutos en el campo inmediatamente antes de la recolección.
- En los distintos órganos de la cosechadora.
- En el vehículo de transporte.
- En la descarga en fábrica.

Todas estas muestras eran inspeccionadas fruto a fruto y clasificadas según la gravedad de sus daños en las siguientes categorías:

- Frutos sin daños: Los que aparecen intactos, sin ningún tipo de daños mecánicos en la epidermis.
- Frutos magullados: Los que por efecto de un golpe o compresión se han dañado en su interior y aparecen blandos al tacto, pero mantienen su piel intacta.
- Frutos rajados: Los que presentan una o varias grietas que sólo afectan a la epidermis.
- Frutos rotos: Aquellos en los que el daño es más profundo, llegando incluso a la cavidad carpelar.

Los frutos de cada categoría eran pesados, determinándose el porcentaje en peso que cada una representaba. La primera muestra de frutos se toma sobre la línea de plantas que se va a recolectar, y se utiliza como testigo para comparar con ella las muestras restantes.

El resto del muestreo se realizaba de la siguiente forma: Puesta en funcionamiento la cosechadora, se toma una muestra a la entrada de la banda de selección; en comparación con la anterior (muestra de campo) esta muestra permite determinar los daños provocados por el sistema de corte y elevación y por los sacudidores. Posteriormente, se toma otra muestra a la salida de la cinta de descarga de la cosechadora, con lo que se pueden estimar los daños provocados en la banda de selección y en el elevador de carga. Del fondo del contenedor se toma otra muestra que permite determinar los daños provocados por la caída del fruto. Por último, en la descarga en la fábrica, otra muestra permite estimar los daños producidos durante el transporte.

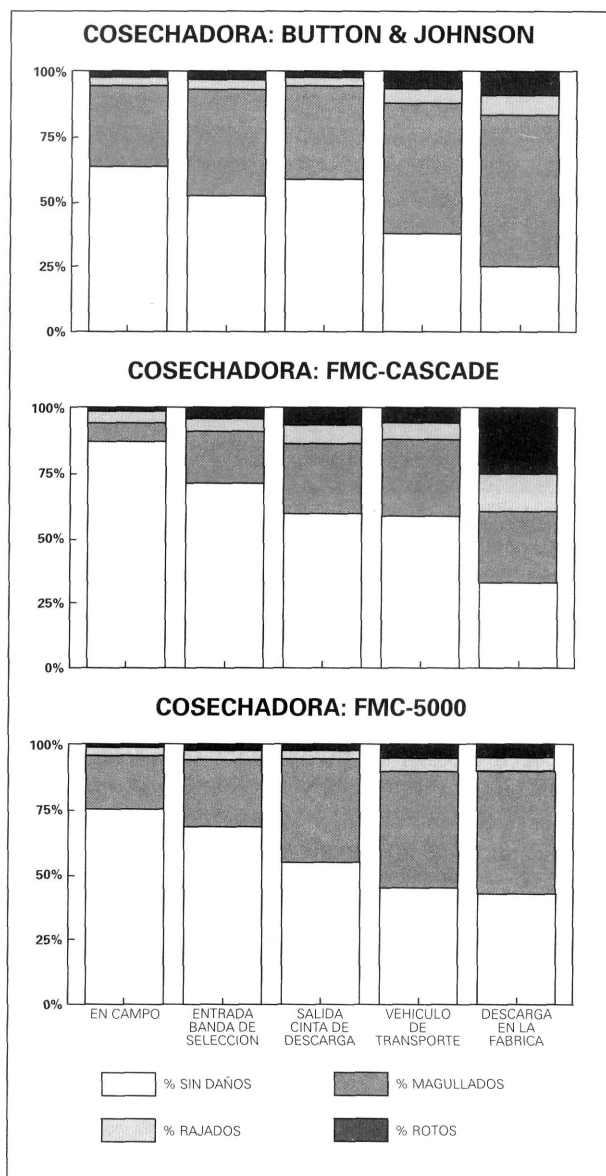
Utilizando esta técnica se realizaron ensayos repetidos en tres fincas, en dos momentos de la campaña (30 de Agosto y 12 de Septiembre) con tres variedades (H-324-1, H-30 y Royal Chico) y las cosechadoras FMC-5000, FMC-Cascade y Button & Johnson<sup>1</sup>, todas ellas de fabricación americana. Un ejemplo de los datos obtenidos se presenta en la Figura 9.16, donde se indica la diferencia de daños producidos con los distintos modelos de cosechadoras.

Se comprobó que el método de muestreo era capaz de discriminar entre la calidad del trabajo realizado por máquinas distintas, y cómo el modelo más antiguo producía significativamente más daños. Se observaron importantes diferencias también en los daños producidos a las distintas variedades. (Rodríguez y Ruiz, 1992).

En 1983 se realizaron nuevos ensayos (Ruiz *et al*, 1984), con los que se pretendió determinar la calidad del trabajo realizado por las máquinas, y a la vez hacer una primera estimación de la capacidad de trabajo y del coste de la recolección mecánica. En estos ensayos se trabajó con la cosechadora portuguesa Entrepasto, y con la americana FMC Cascade. La técnica de ensayo en este caso incluye la determinación de la eficiencia, entendida como la relación, en tanto por uno, entre producto recogido y producto recogido + pérdidas, de forma análoga a como se utiliza en cosechadoras

<sup>1</sup> La mención de marcas y modelos no supone ninguna clase de recomendación.





**Figura 9.16.** Daños mecánicos producidos durante la recolección y el transporte.

de grano. En la zona de ensayos, antes del paso de la cosechadora, se recogen a mano todos los frutos en una longitud de 10 m; con esta muestra se afora la cosecha (se determina la producción real por superficie) y se determinan los porcentajes de frutos verdes, maduros y sobremaduros. Durante el funcionamiento de la cosechadora, en



Figura 9.17. Determinación de las pérdidas de fruto en ensayos de cosechadoras de tomate.

una zona cercana de la misma parcela, en un momento determinado se extiende detrás de la cosechadora una lona de 20 m de longitud y 1,80 m de anchura (Figura 9.17), sobre la que se puede recoger el material de salida de los sacudidores (las plantas con, eventualmente, frutos no desprendidos). Durante el ensayo se controla la velocidad y se recoge el producto (frutos) realmente cosechado durante el mismo recorrido. Inmediatamente se recogen y pesan los frutos caídos en la lona (pérdidas de los sacudidores), y los que quedaron bajo ella (pérdidas en el cabezal, más los frutos eliminados por los operarios en la selección manual, y pérdidas de otros elementos de la máquina, como cinta elevadora, inicio de la cinta de carga, etc.).

Por último, en los frutos recolectados se clasifican y pesan los frutos verdes, maduros enteros, maduros rajados (ver más arriba) y sobremaduros. Las variedades ensayadas y algunos resultados obtenidos se recogen en el Tabla 9.1. Entre las conclusiones obtenidas destacan:

TABLA 9.1.  
*Ensayos de 1983. Calidad del trabajo realizado por las cosechadoras*

Cosechadora	Variedad	Aforo de la cosecha		% Pérdidas de tomate maduro			% frutos maduros con daños	% Tomate maduro recolectado sobre aforo
		Tomate maduro kg/ha	% Tomate maduro	Sacudidores	Resto máquina	Total		
Entrepuesto	Petagro II	52.000	78,5	4,5	1,5	6,0	6,0	86,0
Entrepuesto	CHEF	56.000	82,0	3,3	3,5	6,8	10,5	83,0
Entrepuesto	H-324-1	63.000	89,2	0,6	3,9	4,5	4,4	92,0
FMC-Cascade	H-324-1	78.000	93,0	0,9	15,0	15,9	4,4	80,0
Media		62.250	85,6	2,3	6,0	8,3	6,3	85,2

- Las pérdidas totales se relacionan con el tipo de cosechadora utilizado y con las propiedades físicas de las variedades, con efecto cruzado; la cosechadora Entreposto perdía más frutos en la variedad de frutos más grandes, los cuales presentaban una mayor fuerza de desprendimiento.
- Las pérdidas de frutos maduros son porcentualmente menores cuanto mayor es la proporción de tomate maduro en el aforo.
- El porcentaje de tomates rajados está principalmente relacionado con la variedad, es decir con las propiedades mecánicas de cada una (y por lo tanto, con su estado de madurez también).

En la Tabla 9.2 se recogen las capacidades teóricas, en función de la velocidad medida en los ensayos; la velocidad de trabajo de la cosechadora disminuye en variedades de fruto pequeño (la selección manual es más lenta); la capacidad de trabajo (capacidad de alimentación) varió entre 7.000 kg/h y más de 15.000 kg/h para una de las cosechadoras, trabajando en dos variedades distintas. Aplicando a esta capacidad un coeficiente de rendimiento efectivo de 0,75, las capacidades de trabajo en campo se sitúan entre 5.000 y 11.000 kg/h. (El coeficiente de rendimiento efectivo es la relación entre el tiempo efectivo de trabajo y el tiempo básico=tiempo efectivo más tiempo accesorio de virajes, aprovisionamiento y pequeño mantenimiento; su valor se determina experimentalmente, y puede oscilar entre amplios límites, típicamente entre 0,4 a 0,8, afectando como es evidente de forma muy importante a la capacidad de trabajo de la cosechadora). El cálculo del coste de esta recolección en aquel momento era claramente competitivo frente a la recolección manual.

TABLA 9.2.  
*Ensayos de 1983: Capacidades de trabajo teóricas*

Cosechadora	Variedad	Velocidad de trabajo km/h	Aforo de cosecha kg/h	Capacidad teórica	
				ha/hora	kg/hora
Entreposto	Petogro II	1,00	65.000	0,15	9.750
		1,30	55.000	0,195	10.725
Entreposto	CHEF	1,41	63.000	0,21	13.230
		1,42	74.000	0,21	15.540
		1,50	67.000	0,23	15.410
Entreposto	H-324-1	0,66	71.000	0,10	7.100
FMC-Cascade	H-324-1	1,12	83.000	0,17	14.110
		0,84	83.000	0,13	10.790

Ante la aparición en el mercado de nuevas máquinas cosechadoras de fabricación italiana, de coste y tamaño más reducido que las de fabricación americana, en 1990 se realizan unos nuevos ensayos (Rodríguez *et al.*, 1991; Rodríguez y Ruiz, 1992) con el fin de comparar las capacidades de trabajo y eficiencias de algunos de los modelos más populares. Específicamente para este ensayo se preparó una parcela de aproximadamente 2 ha de una sola variedad (UC-82L). Se utilizaron las técnicas de cultivo adecuadas para optimizar la recolección mecánica. Cada una de cinco partes

de la parcela se asignó a una cosechadora diferente, y las características de cada una de ellas se recogen en la Tabla 9.3. Antes de iniciarse la recolección se realizó un muestreo sobre cada una de las parcelas para determinar el estado de maduración del cultivo: porcentajes de frutos verdes, maduros y sobremaduros. Se controló el tiempo empleado por cada máquina en cosechar su parcela completa (tiempo básico). Los frutos cosechados por cada máquina se cargaron y transportaron separadamente a una industria conservera donde se pesaron y por medio de muestreos se determinó el nivel de daños mecánicos, para los mismos tipos de daños referidos más arriba. Acabada la recolección, se realizó un muestreo en cada parcela para determinar las pérdidas: cantidad de frutos maduros que quedaron en el suelo (frutos perdidos en el cabezal más los frutos rechazados en las bandas de selección) y en las plantas (frutos no desprendidos por los sacudidores). Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 9.4. Se aprecian diferencias importantes entre la capacidad de trabajo de las máquinas remolcadas y la de las autopropulsadas (más grandes, más veloces y más costosas). La mayor capacidad de trabajo se alcanzó precisamente en la zona de la parcela en la que se determinó una mayor producción de frutos maduros. Se observaron pérdidas en la planta entre 0,2 y 3,3%, y pérdidas en el cabezal y en el suelo entre 2,4 y 5,5%. Los porcentajes de daños producidos, no muy diferentes entre todas las máquinas, oscilaron entre 33,2 y 41,4%.

TABLA 9.3.

*Ensayos de 1990: Características de las cosechadoras ensayadas*

Marca y modelo	Guaresi G-84	Coopmes Super S	Coopmes SL-78	Pomac	C.R.F. RPS/11
Altura máxima (m)	2,70	3,00	2,90	2,50	3,30
Anchura máxima (m)	2,35	2,48	2,50	2,30	2,50
Longitud (m)	7,30	7,00	7,20	6,20	8,30
Ancho de vía (m)	1,50	1,50	1,60	1,45	1,50
Peso en vacío (kg)	3.500	3.200	4.500	2.350	6.400
Potencia necesaria (CV)	50	50	80	50-60	80
Accionamiento	Arrastr.	Arrastr.	Autoprop.	Arrastr.	Autoprop.
Número de operarios seleccionadores	8	10	10	8	10

Comparando los resultados de todos estos ensayos realizados en España en el plazo de casi 15 años, la mejora de la eficiencia en la recolección mecánica ha sido considerable. La evolución puede considerarse muy similar para otras áreas de cultivo de tomate de industria.

Se ha mencionado más arriba el efecto de las mejores propiedades de resistencia de las variedades de nueva incorporación, y por otro lado la industria constructora ha introducido máquinas cosechadoras de calidad. Sin embargo, es también justo mencionar que la eficiencia en la práctica real de la recolección mecánica puede aún mejorarse.

TABLA 9.4.  
*Ensayos de 1990: Capacidad de trabajo de las máquinas, pérdidas y daños ocasionados*

Cosechadora	Estado de maduración de la parcela			Capacidad de trabajo efectiva		Frutos recolectados y pérdidas			Daños en el fruto		
	% Verdes	% Maduros	% Sobre-maduros	hora/ha	t/hora	Recolec. t/ha (%)	En el suelo (cabezal) t/ha (%)	En la planta (sacudidores) t/ha (%)	Sin daños (%)	Rajados (%)	Rotos (%)
Guaresi G-84	3,68	90,74	5,58	8,75	4,9	42,8 (88)	2,4 (5)	3,3 (7)	60,8	21,5	17,7
Coopmes Super S	9,53	83,96	6,51	9,66	3,8	36,7 (84)	5,5 (13)	1,2 (3)	66,8	17,9	13,3
Coopmes SL.78	15,38	77,18	7,44	6,35	5,9	37,5 (88)	4,7 (11)	0,6 (1)	62,5	19,6	17,9
Pomac	15,09	74,82	10,09	9,77	3,9	38,1 (91)	3,7 (8)	0,2 (1)	58,6	18,5	22,9
C.R.F. RPS/11	14,80	72,46	12,74	6,21	5,7	35,4 (92)	2,5 (66)	0,4 (2)	60,1	18,6	21,2



Las mejoras en las que se ha centrado la construcción de las máquinas cosechadoras en los últimos años se encuentran sobre todo en la limpieza (eliminación temprana de todo resto de tierra, terrones o piedras); en la eliminación de daños a los frutos y en la economía del funcionamiento, por eliminación de mano de obra en la selección y aumento de la capacidad de trabajo, en correspondencia con el tamaño de las máquinas.

#### **9.7.4. Coste económico de la recolección mecánica**

La sustitución del cultivo tradicional por el cultivo mecanizado tiene como objetivo fundamental la reducción de los costes de producción, aunque no deben olvidarse otros objetivos como solucionar el problema de la escasez de mano de obra agrícola que se presenta en algunas áreas, reducir la penosidad del trabajo, etc.

Aunque el impacto de la mecanización del cultivo sobre la economía de la explotación debe medirse comparando los costes económicos de ambos sistemas de cultivo, puede ser de interés determinar aisladamente el efecto económico de la mecanización de la recolección, para decidir la conveniencia económica de introducir la cosecha mecánica en una situación concreta. Debe tenerse en cuenta que es posible mecanizar todas las operaciones culturales y después recolectar a mano y que, por otra parte, mecanizar la recolección implica una fuerte inversión que debe ser analizada cuidadosamente en cada caso para conseguir que se obtengan los resultados esperados.

El coste económico de la cosecha mecánica en relación con la recolección manual, viene determinado por diversos índices, algunos puramente económicos, como precio de la cosechadora, capacidad de inversión de la explotación, coste unitario de la mano de obra y del dinero, etc y otros que se refieren al rendimiento de trabajo de la propia máquina, que viene afectado por cuestiones como: cultivar que se utilice, preparación de los caballones de cultivo, programación del cultivo, agrupación de la maduración que se consiga, etc.

Los valores medios de estos índices, determinados en ensayos puntuales como los descritos anteriormente, no tienen más que un valor orientativo; la decisión de mecanizar la recolección en una explotación concreta debe basarse en la estimación, lo más exacta posible, de sus propios índices y su aplicación a las diversas opciones que la explotación tiene para encontrar aquella que resulte más económica. Errores en esta estimación pueden provocar un efecto contrario al que se pretende.

A título de ejemplo, se ofrecen a continuación los resultados de un estudio realizado en Badajoz, en la campaña de 1993 (datos no publicados), en el que se compararon los costes de recolección en las siguientes situaciones:

- Recolección manual.
- Recolección con una cosechadora alquilada a una empresa de servicios.
- Recolección con una cosechadora propia: a) Remolcada y b) Autopropulsada y con selección electrónica.



Figura 9.18. Determinación del rendimiento y el coste en la recolección manual.

Los rendimientos y el coste de la recolección manual (Figura 9.18) se determinaron en base a datos medios de cuadrillas de recolectores, en diversas fincas y en diversos momentos a lo largo de la campaña de recolección.

En todos los casos, la recolección se efectuó de una sola vez y las cuadrillas trabajaban en equipo, habiendo unos operarios que cortaban las plantas y las sacudían para desprender los frutos, que quedaban encima del caballón, y otros que se encargaban de llenar las cajas de recolección, que quedaban alineadas sobre los surcos de riego y posteriormente eran vaciadas en un remolque que recorría la parcela. En estas condiciones, los rendimientos y costes que se obtuvieron fueron:

	<i>kg/hora/hombre</i>	<i>pta/kg</i>
Recolección	128	4,70
Carga	1.305	0,45

El coste total de la operación fue de 5,15 pta/kg; en este coste no se incluye el del tractor y remolque sobre el que se carga, que se imputan al coste del transporte.

Una primera opción que se les presenta a las explotaciones es el contrato con una empresa de servicios de la operación de recolección; en general estas empresas disponen de máquinas cosechadoras de gran rendimiento y tienen concedidos cupos de entrega con las industrias conserveras que les permiten trabajar con sus máquinas un gran número de horas por día.

En el caso que nos ocupa se controló el trabajo de una cosechadora Button & Johnson, dotada con selección electrónica y con un equipo de 8 seleccionadores, que

trabajó en una explotación, el 17 de Agosto, en 3 turnos de ocho horas, en los que recolectó un total de 281.100 kg sobre una superficie de 4,2 ha. La producción media fue de 66.929 kg/ha, el rendimiento de la máquina fue de 11.712 kg/hora trabajada y el rendimiento de la mano de obra fue de 1.301 kg/hora/hombre.

El precio del arrendamiento incluía el salario del conductor y todos los costes de la máquina, corriendo por cuenta del dueño de la explotación el pago de los seleccionadores.

El coste de la operación fue el siguiente:

	<i>Coste total pta</i>	<i>Coste unitario pta/kg</i>
Arrendamiento de la máquina	843.300	3,00
Mano de obra seleccionadores	115.200	0,41
Seguridad Social	2.689	0,01

El coste total de la recolección fue, por tanto, de 3,42 pts/kg.

Para analizar el coste de la recolección con cosechadora propia se hizo un seguimiento, durante toda la campaña, de dos cosechadoras, una remolcada y otra autopropulsada y con selección electrónica, ambas de la marca Guaresi. La cosechadora remolcada es propiedad de un grupo de seis pequeños productores que cultivan un total de 22 ha y la autopropulsada pertenece a un grupo de tres productores medianos que cultivan un total de 40 ha. En ambos casos las máquinas sólo recolectaron la superficie cultivada por sus propietarios, no siendo en ningún caso alquiladas a terceros. Para la máquina remolcada se utilizó un tractor arrendado para impulsarla.

TABLA 9.5.  
*Resultados de la campaña de recolección con dos máquinas cosechadoras*

	<i>Cosechadora remolcada</i>	<i>Cosechadora autopropulsada con selección electrónica</i>
Coste de adquisición (pta)	6.000.000	22.050.000
Equipo de trabajo	1 Tractorista 8 Seleccionadores	1 Tractorista 6 Seleccionadores
Superficie cosechada (ha)	22	40
Tomate cosechado (kg)	1.296.351	2.039.334
Producción media (kg/ha)	58.925	50.983
Inicio de recolección	27 Julio	1 Agosto
Fin de recolección	15 Septiembre	20 Septiembre
Número de días de trabajo	42	45
Horas de trabajo efectivas	266	204
Horas trabajadas por día	6,3	4,4
Rendimiento por hora de trabajo (kg)	4.873	9.996
Rendimiento por hora y hombre (kg)	541	809



En la Tabla 9.5 se recogen las características de las máquinas y los resultados de la campaña de recolección. De estos datos llama sobre todo la atención el bajo número de horas de trabajo por día, especialmente en el caso de la cosechadora autopropulsada. La razón de que esto se produzca está, por un lado, en el sobredimensionamiento de las máquinas en relación con la superficie que se pretendía recolectar, y por otro, en la mala planificación de los cultivos y de los cupos de entrega en la fábrica.

Los costes, tanto totales como unitarios, que se produjeron en ambos casos, se resumen en la Tabla 9.6. La amortización se ha considerado como lineal, en cinco años en el caso de la cosechadora remolcada y en siete años en el caso de la autopropulsada.

TABLA 9.6.  
*Costes de recolección con cosechadoras propias*

	<i>Cosechadora remolcada</i>		<i>Cosechadora autopropulsada</i>	
	<i>Coste total (pta)</i>	<i>Coste unitario (pta/kg)</i>	<i>Coste total (pta)</i>	<i>Coste unitario (pta/kg)</i>
<i>Costes variables</i>				
Reparaciones	44.757	0,03	51.675	0,03
Arrendamiento de tractor	665.000	0,51	—	—
Combustible y lubricantes	—	—	123.671	0,06
Mano de obra	1.343.720	1,04	1.775.000	0,87
Seguridad Social	31.366	0,03	40.966	0,02
<i>Subtotal</i>	<i>2.084.843</i>	<i>1,61</i>	<i>1.991.312</i>	<i>0,98</i>
<i>Costes Fijos</i>				
Amortizaciones	1.200.000	0,93	3.150.000	1,54
Seguros	53.200	0,04	240.100	0,12
<i>Subtotal</i>	<i>1.253.200</i>	<i>0,97</i>	<i>3.390.100</i>	<i>1,66</i>
<i>Costes Totales</i>	<i>3.338.043</i>	<i>2,58</i>	<i>5.381.412</i>	<i>2,64</i>

En la Tabla 9.7 se comparan los rendimientos de la mano de obra y los costes de los distintos sistemas de recolección estudiados.

TABLA 9.7.  
*Rendimientos de la mano de obra y costes de los sistemas de recolección estudiados*

<i>Sistema de recolección</i>	<i>Rendimientos kg/hora/hombre</i>	<i>Costes (pta/kg)</i>		
		<i>Variables</i>	<i>Fijos</i>	<i>Totales</i>
Recolección manual	126	5,15	—	5,15
Cosechadora alquilada	1.301	3,42	—	3,42
Cosechadora remolcada	541	1,61	0,97	2,58
Cosechadora autopropulsada	809	0,98	1,66	2,64

Como es lógico, los rendimientos de la mano de obra se incrementan de forma notable al mecanizar la recolección, siendo este incremento mayor si se dispone de selección electrónica y cuanto mayor es la capacidad de trabajo de la máquina.

Los costes unitarios de recolección son muy inferiores para la cosecha mecánica que para la cosecha manual, en las condiciones consideradas. El coste con cosechadora alquilada resulta más elevado que cuando la cosechadora es propia, puesto que en el primer caso el coste pagado por el productor debe incluir el beneficio que obtiene la empresa propietaria de la cosechadora.

En los dos casos estudiados de recolección con cosechadora propia, resultan muy elevados los Costes Fijos, como consecuencia del escaso número de horas trabajado por las máquinas (266 en el caso de la remolcada y 204 en el de la autopropulsada). Mejorando la programación de los cultivos y de las entregas en la fábrica es posible alcanzar al menos 600 horas de trabajo por campaña (50 días por 12 horas de trabajo diario), recurriendo a alquilar la máquina si no se dispone de superficie propia de cultivo suficiente; en este caso, los Costes Fijos se dividirán por 2,25 en el caso de la cosechadora remolcada y casi por 3 en el de la autopropulsada.

En las condiciones en que se realizó el estudio, el coste unitario de la cosecha mecánica fue, en todos los casos, inferior al de la cosecha manual, llegando en algún caso a reducirse a la mitad. Mientras que el coste de la cosecha manual prácticamente no puede reducirse, el coste de la cosecha mecánica se puede reducir notablemente mejorando la gestión de las máquinas, lo que sin duda se logrará en los próximos años, cuando los agricultores se habitúen al uso de las cosechadoras. En estas condiciones, no es extraño que la recolección mecánica esté extendiéndose rápidamente en Extremadura, donde en algunas campañas más alcanzará a la casi totalidad de la superficie de cultivo.

En otras zonas donde hoy no se realiza el cultivo mecanizado, la elevación del coste de la mano de obra provocará sin duda un fenómeno similar al producido en Extremadura y otras áreas que le precedieron en la mecanización, de modo que en el futuro el cultivo íntegramente mecanizado será la técnica habitual utilizada para producir tomates con destino a la transformación industrial.

## 9.8. Referencias bibliográficas

- Bernat, C.; Gil, E. (1992). Mecanización del trasplante. MT, Máquinas y tractores 3 (9): 47-54.
- Caro, M.; Naugle, R. (1980). Tomate: Mecanización integral del cultivo. Revista Agricultura, 1980: 298-301.
- Cooperative Extension University of California, Davis (1985). Mechanized Growing and Harvesting of Processing Tomatoes. Leaflet no 2686.
- Cosgaya, M. (1990). El trasplante mecanizado en horticultura. MT, Máquinas y Motores 1 (9): 32-46.
- García, T.; Ruiz, M.; Ortiz-Cañavate, J.; Rodríguez, A.; Portas, C. M. (1985). Mecanización agraria y empleo en el Regadío Extremeño. Revista de Estudios Agrosociales n.º 132: 173-185.

- Giametta, G. (1993). Le macchine per la raccolta del pomodoro da industria. *M & M Macchine e Motori Agricoli* 10: 7-12.
- Gil, J.; Ruiz, M.; Ortiz-Cañavate, J. (1984). Ensayos de la calidad del trabajo realizado por las cosechadoras de tomate de industria utilizadas en España. 16.ª Conferencia Int. de Mecanización Agraria (FIMA) Zaragoza.
- Gil, J.; Rodríguez, A.; Ortiz-Cañavate, J. (1986). Acoplamiento de un sistema acaballador a una fresadora para dar labores de pre- y post siembra en los cultivos hortícolas. *Actas de la 18 Conferencia Internacional de Maquinaria Agrícola (CIMA)*. FIMA Zaragoza: 63-69.
- Gracia, C.; Palau, E. (1983). *Mecanización de los cultivos hortícolas*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Guarella, P. (1992). I problemi di meccanizzazione delle colture orto-vivaistiche. *M & M, Macchine e Motori Agricoli*, n.º 12: 129-133.
- Lorenzen, C.; Hanna, G.C. (1962). Mechanical harvesting of tomatoes. *Physiological and mechanical aspects of fruit-vine separation*. *Agricultural Engineering* 43 (1): 16-19.
- Miles, J.A.; Fridley, R.B.; Lorenzen, C. (1968). Strength characteristics of tomatoes subjected to quasi-static loading. *Transactions of the ASAE* 12 (4): 627.
- Ortiz-Cañavate, J.; Gil, J. (1980). Ensayo de cosechadoras de tomate de industria. *Información Técnica* n.º 60. del Servicio de Extensión Agraria de Extremadura, Badajoz: 28-42.
- Ortiz-Cañavate, J. (1993) (4.ª edición). *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid.
- Planas, S. (1990). Nuevas técnicas de aplicación de fitosanitarios. *MT, Máquinas y Tractores* 1 (3): 73-77.
- Rodríguez, A.; Cuartero, J.; Ruiz, M. (1991). Ensayo de funcionamiento de cosechadoras de tomate en Extremadura. 23 Conferencia Internacional de Mecanización Agraria, CIMA. FIMA, Zaragoza: 407-413.
- Rodríguez, A.; González, J.A. (1991). La siembra directa en el cultivo del tomate de industria. *MT, Máquinas y Tractores* 2 (10): 58- 65.
- Rodríguez, A.; Ruiz, M. (1992). Ensayos de recolección mecánica de tomates para industria en Extremadura. *MT, Máquinas y Tractores* 3 (10): 32-36.
- Ruiz, M.; Gil, J.; Ortiz-Cañavate, J. (1984). Recolección mecánica del tomate de industria. *Información técnica* n.º 108. Servicio de Extensión Agraria (SEA) de la Junta de Extremadura, Badajoz: 61-72.
- Ruiz, M.; Chen, P. (1982). Use of first derivatives of light reflectance curves to detect mold in tomatoes. *Transactions of the ASAE* 25 (3): 759-762.
- Ruiz, M.; Ortiz-Cañavate, J.; García, T.; Portas, C.M.; Rodríguez, A. (1983). Cultivos hortícolas industriales en las alternativas de regadío. Productividades de la mano de obra empleada. *Actas I Congreso de la Sociedad Española de las Ciencias Hortícolas (SECH)*, Valencia: 771-780.
- Ruiz, M.; Chen, P. (1990). Los productos agrícolas: Evaluación cualitativa y clasificación por métodos no destructivos. *MT: Máquinas y Tractores Agrícolas* (2): 48-53.
- Webb, R.E.; Bruce, W.M. (1968). Redesigning the tomato for mechanized production. *Year-book of Agriculture*: 103-107.